



TUGAS AKHIR - SF 141501

ANALISA MIKROTREMOR MENGGUNAKAN METODE *RANDOM DECREMENT* UNTUK MIKROZONASI POTENSI KERUSAKAN AKIBAT GEMPABUMI DI KABUPATEN PACITAN

Irvan Adji Pradana
NRP 0111440000052

Dosen Pembimbing
Dr. Sungkono, M.Si

Departemen Fisika
Fakultas Ilmu Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR - SF 141501

**ANALISA MIKROTREMOR MENGGUNAKAN
METODE *RANDOM DECREMENT* UNTUK
MIKROZONASI POTENSI KERUSAKAN
AKIBAT GEMPABUMI DI KABUPATEN
PACITAN**

**Irvan Adji Pradana
NRP 0111440000052**

**Dosen Pembimbing
Dr. Sungkono, M.Si**

**Departemen Fisika
Fakultas Ilmu Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018**



TUGAS AKHIR - SF 141501

**MIKROTREMOR ANALYSIS USING RANDOM
DECREMENT METHOD FOR
MICROZONATION OF EARTHQUAKE
POTENTIAL DAMAGE IN PACITAN REGION**

**Irvan Adji Pradana
NRP 0111440000052**

**Advisor Lecturer
Dr. Sungkono, M.Si**

**Department of Physics
Faculty of Natural Science
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA MIKROTREMOR MENGGUNAKAN METODE *RANDOM DECREMENT* UNTUK MIKROZONASI POTENSI KERUSAKAN AKIBAT GEMPABUMI DI KABUPATEN PACITAN

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Syarat dalam Memperoleh Gelar
Sarjana Sains pada:

Program Sarjana Departemen Fisika
Fakultas Ilmu Alam

Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh:

IRVAN ADJI PRADANA

01111440000052

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :



1. Dr. Sungkono, M. Si(Pembimbing I)
NIP. 19850702 201404.1.002



ANALISA MIKROTREMOR MENGGUNAKAN METODE *RANDOM DECREMENT* UNTUK MIKROZONASI POTENSI KERUSAKAN AKIBAT GEMPABUMI DI KABUPATEN PACITAN

Nama Mahasiswa : IRVAN ADJI PRADANA
NRP : 01111440000052
Departemen : Fisika FIA ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Sungkono, M. Si

ABSTRAK

Kabupaten Pacitan termasuk kedalam daerah yang sering terjadi gempabumi. Hal ini terjadi karena pada daerah Pacitan memiliki beberapa patahan aktif. Patahan aktif ini dapat menyebabkan getaran yang dapat memicu gempabumi. Oleh karena itu, dilakukan mikrozonasi kegempaan pada Kabupaten Pacitan untuk mengetahui daerah yang berpotensi mengalami kerusakan akibat gempabumi. Mikrozonasi kegempaan di Kabupaten Pacitan dilakukan menggunakan metode *Random Decrement* (RDM) pada data mikrotremor untuk menghasilkan rasio redaman dan frekuensi natural. Hasilnya menunjukkan bahwa rasio redaman dan frekuensi natural pada Kabupaten Pacitan dipengaruhi oleh jenis formasi batuan serta adanya sesar. Selanjutnya, kedua parameter ini digunakan untuk mikrozonasi menggunakan metode *Fuzzy Clustering* dalam membagi daerah penelitian menjadi 6 zona, yakni zona sangat bahaya, zona bahaya, zona waspada, zona siaga, zona aman, dan zona sangat aman. Daerah yang termasuk kedalam zona sangat bahaya adalah Kecamatan Sudimoro dan Tulakan, sedangkan daerah yang termasuk kedalam zona bahaya adalah Kecamatan Kebonagung. Selain itu, yang termasuk zona aman adalah Kecamatan Bandar, serta daerah yang termasuk kedalam zona sangat aman adalah Kecamatan Donorejo. Daerah-daerah yang lain termasuk kedalam zona waspada hingga siaga.

Kata Kunci : Getaran, Gempabumi, Mikrotremor, Random Decrement

MIKROTREMOR ANALYSIS USING RANDOM DECREMENT METHOD FOR MICROZONATION OF EARTHQUAKE POTENTIAL DAMAGE IN PACITAN REGION

Student's Name : IRVAN ADJI PRADANA
NRP : 01111440000052
Departement : Physics FIA ITS
Advisor Lecturer : Dr. Sungkono, M. Si

ABSTRACT

Pacitan region is one of the region in Indonesia that has high vulnerability in earthquake and another related disaster. this cause mainly by Pacitan region has several active faults. This active faults cause the vibration that can trigger the earthquake. Microzonation has been conducted to map the earthquake potential area in Pacitan Region and to gather the information about highly vulnerable area in which have highest catastrophic effect. The earthquake Microzonation in Pacitan Region is conducted using the Random Decrement Method in which microtremor data were used and resulting in damping ratio and natural frequency. The result are the damping ratio and natural frequency in pacitan region are mainly caused by rock formation and the geological joint structure. Then, these two parameters can be used to mapping by using the Fuzzy Clustering method which divide the area accross the Pacitan region into 6 zones, very dangerous zone, dangereous zone, warning zone, harmless zone, safe zone and very safe zone. The result are the area that belongs to very dangerous zone are in Sudimoro and Tulakan Subdistrict, while the dangerous zone is Kebonagung Subdistrict, another zone is safe zone, this zone consisted of Bandar Subdistrict and the very safe zone are in Donorejo Subdistrict. Another area that don't belong to those categories are in harmless and warning zone.

Keywords: *Earthquake, Mikrotremor, Random decrement, Vibration*

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT Tuhan semesta alam yang telah memberikan karunia, rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul:

“ANALISA MIKROTREMOR MENGGUNAKAN METODE *RANDOM DECREMENT* UNTUK MIKROZONASI POTENSI KERUSAKAN AKIBAT GEMPABUMI DI KABUPATEN PACITAN”

Sebagai salah satu persyaratan akademis dalam menyelesaikan Program Studi Sarjana pada Departemen Fisika Fakultas Ilmu Alam Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Tugas Akhir ini dapat diselesaikan berkat kerjasama, bantuan, dan dukungan dari banyak pihak. Sehubungan dengan hal itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Sungkono sebagai dosen pembimbing Tugas Akhir atas segala kritik, saran, motivasi dan kesabaran dalam membimbing kepada penulis.
2. Dr. rer. nat. Eko Minarto selaku dosen wali penulis yang telah banyak membantu memberikan arahan akademik selama penulis menempuh pendidikan di Departemen Fisika FIA ITS.
3. Bapak dan Ibu Dosen serta seluruh *staff* Tata Usaha dan Laboratorium Departemen Fisika FIA ITS.
4. Dr. Yono Hadi P., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Fisika FIA ITS.
5. Teman satu tim “TA Pacitan” M. Azmi Caesardi dan Alif Haidar Safrian yang telah menemani, memberikan dukungan dan bantuan selama penulis mengerjakan Tugas Akhir.
6. Bramantya Ramadani yang telah rela memfasilitasi penulis dalam mengerjakan Tugas Akhir.
7. Anisah Rahmania yang telah membagi ilmu dalam mensukseskan penelitian ini.

8. Pak Amin, Bu Ani, Nana, Bella, Opik yang telah berbaik hati menampung, berbagi pengalaman, dan memberikan semangat kepada penulis pada saat akuisi data lapangan.
9. Kedua orang tua penulis Bapak Samiaji dan Ibu Titik Suwarni serta adik semata wayang penulis Ardio Dwi Riandika Putra yang selalu memberikan dukungan moral dan spiritual sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir.
10. Saudara yang tergabung dalam grub “Paguyuban Perintis” Janitra R. S., Romdhoni G. P., A. Rifki C. P., A. Afifur R. Dimas Bagus Y., Agung K., Firsta Agung S., Wildan Tri N. yang selalu memberikan dukungan, bantuan, dan hiburan selama penulis menjalani proses perkuliahan.
11. Teman-teman seperjuangan bidang minat Fisika Bumi 2014.
12. Seluruh penghuni Lab. Geofisika terima kasih atas keramahan, fasilitas dan sharing ilmunya.
13. Keluarga besar “Antares” Fisika 2014 terima kasih atas segala dukungan selama kuliah.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik dari pembaca. Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi semua pihak yang berkepentingan.

Surabaya, Juli 2018

Penulis
Irvan Adji Pradana

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN....	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
1.6 Sistematika Penelitian	3
BAB II.....	5
2.1 Kondisi Umum Kabupaten Pacitan	5
2.2 Riwayat Gempabumi di Pacitan.....	8
2.3 Mikrotremor	9
2.4 Getaran Teredam Pada Tanah	10
2.5 <i>Random Decrement Method</i> (RDM)	13
2.6 Frekuensi Natural dan Rasio Redaman	15
2.7 Fuzzy Clustering	18
2.8 Mikrozonasi.....	20
BAB III.....	21
3.1 Peralatan Penelitian	21
3.2 Tahapan penelitian	22
BAB IV	27
4.1 Analisa Data	27
4.2 Pembahasan.....	28
4.2.1 Analisa Rasio Redaman	30
4.2.2 Analisa Frekuensi Natural	35
4.2.3 Mikrozonasi Kegempaan.....	39
5.1 Kesimpulan	43
5.2 Saran.....	43

DAFTAR PUSTAKA.....45

LAMPIRAN49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Peta Geologi Pacitan yang digambar ulang dari Samodra (1995)	7
Gambar 2. 2 Data Epicenter gempa di Kabupaten Pacitan	8
Gambar 2.3 Ilustrasi pegas-massa-benda diambil dari (Castellaro, 2015)	11
Gambar 2.4 Kurva getaran teredam diambil dari (Fernández-Heredia et al.,2012).....	14
Gambar 3. 1 Peralatan penelitian (a) 1 set mikrotremor, (b) aki, (c) GPS, (d) kompas, (e) laptop	22
Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian.....	23
Gambar 3. 3 Desain Pengukuran penelitian RDM.....	24
Gambar 4. 1 Data hasil pengukuran lapangan pada titik 6.....	27
Gambar 4. 2 Analisis damping ratio menggunakan RDM pada arah NS-EW di titik 6	28
Gambar 4. 3 Grafik data rasio redaman arah east-west terhadap north-south	29
Gambar 4. 4 Grafik data frekuensi natural arah east-west terhadap north-south	30
Gambar 4. 5 Peta mikrozonasi rasio redaman pada Kabupaten Pacitan dari arah North-South	33
Gambar 4. 6 Peta mikrozonasi rasio redaman pada Kabupaten Pacitan dari arah East-West	34
Gambar 4. 7 Peta mikrozonasi frekuensi natural pada Kabupaten Pacitan	37
Gambar 4. 8 Peta Sebaran Frekuensi Natural pada setiap formasi di Kabupaten Pacitan.....	38
Gambar 4. 9 Peta Mikrozonasi kegempaan Kabupaten Pacitan dari parameter rasio redaman dan frekuensi natural	40

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Sumber getaran mikrotremor serta besar frekuensinya	10
Tabel 4. 1	Deskripsi data rasio redaman pada setiap formasi di Kabupaten Pacitan.....	32
Tabel 4. 2	Deskripsi data frekuensi natural pada setiap formasi di Kabupaten Pacitan	36

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN Error! Bookmark not defined.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di Indonesia, wilayah yang sering sekali terjadi gempabumi adalah Kabupaten Pacitan. Hal ini terjadi karena Pacitan terletak di dekat zona subduksi lempeng Indo-Australia dengan lempeng Asia. Selain itu, di wilayah Pacitan juga dilewati sesar aktif (Grendulu). Sesar Grendulu ini membentang di lima kecamatan, yakni Kecamatan Bandar, Nawangan, Punung, Arjosari, serta Donorojo (Purwanto, 1997).

Dari kondisi alam di Pacitan, perlu dilakukan mikrozonasi kegempaan untuk memetakan daerah-daerah yang rawan kerusakan akibat gempabumi. Parameter yang dapat digunakan untuk mikrozonasi ini ialah frekuensi natural dan rasio redaman. Nilai frekuensi natural bergantung pada formasi batuan dan ketebalan sedimen, sedangkan rasio redaman bergantung pada formasi batuan saja. Formasi batuan yang memiliki nilai frekuensi natural dan rasio redaman kecil mengakibatkan kerusakan yang parah apabila terkena gempabumi (Castellaro, 2015).

Salah satu metode yang dapat menganalisa besarnya nilai frekuensi natural dan rasio redaman adalah metode *Random Decrement* (RDM). Metode RDM pertama kali diperkenalkan oleh Cole (1993). Metode RDM ini selanjutnya dikembangkan oleh Castellaro (2015) untuk menganalisa frekuensi natural dan rasio redaman pada tanah menggunakan data mikrotremor. Mikrotremor dikenal sebagai alat yang dapat merekam getaran tanah yang sangat kecil dan terjadi terus menerus. Castellaro (2015) menunjukkan bahwa metode RDM ini efektif untuk mengkarakterisasi suatu tanah dengan menggunakan parameter frekuensi natural dan rasio redaman. Keunggulan lain dari metode ini adalah penggunaannya yang mudah dan biaya yang murah.

Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan analisa mikrotremor menggunakan metode RDM untuk memetakan potensi rawan gempa di daerah Kabupaten Pacitan. Penelitian

ini menghasilkan 2 parameter, yaitu frekuensi natural dan rasio redaman. Dari 2 parameter tersebut, dapat dibuat peta mikrozonasi kegempaan yang diharapkan dapat meningkatkan mitigasi bencana gempa bumi di daerah Kabupaten Pacitan.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka timbul beberapa rumusan masalah, yaitu.

1. Bagaimana rasio redaman pada Kabupaten Pacitan?
2. Bagaimana frekuensi natural pada Kabupaten Pacitan?
3. Bagaimana melakukan mikrozonasi kegempaan rasio redaman pada daerah penelitian?

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian Tugas Akhir ini di berikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini menggunakan data mikrotremor yang digunakan adalah data mikrotremor pada Kabupaten Pacitan.
2. Akuisisi data dilakukan dengan alat *Portable Digital Seismograph* 3 Komponen (2 komponen horisontal: EW-NS dan 1 komponen vertikal).
3. Pengolahan data penelitian ini menggunakan *software* Geopsy dengan metode RDM untuk mendapatkan frekuensi natural dan rasio redaman.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian Tugas Akhir ini adalah:

1. Menentukan nilai rasio redaman pada Kabupaten Pacitan
2. Menentukan nilai frekuensi natural pada daerah Kabupaten Pacitan.
3. Menentukan daerah rawan dari mikrozonasi kegempaan rasio redaman dan frekuensi natural pada daerah penelitian

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian tugas akhir ini adalah untuk mendapatkan informasi tentang frekuensi natural dan rasio redaman di daerah Kabupaten Pacitan. Kedua parameter ini

diestimasi dari data mikrotremor. Nilai frekuensi natural dan rasio redaman dapat menjadikan acuan terhadap penanggulangan kebencanaan gempabumi di Kabupaten Pacitan. Selain itu, informasi yang didapatkan juga dapat digunakan sebagai acuan perencanaan tata ruang dan wilayah dalam membuat bangunan tahan gempabumi.

1.6 Sistematika Penelitian

Sistematika dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut;

- BAB I** : Pendahuluan memaparkan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masah, manfaat, serta sistematika penulisan penelitian.
- BAB II** : Tinjauan Pustaka menjelaskan tentang teori-teori yang digunakan sebagai landasan penelitian.
- BAB III** : Metodologi menjelaskan tentang peralatan dan prosedur mekanisme kerja pada penelitian.
- BAB IV** : Analisa Data dan Pembahasan menjelaskan hasil pengolahan data beserta analisa dari hasil penelitian yang dilakukan.
- BAB V** : Penutup merupakan kesimpulan yang didapatkan dari analisa data serta saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kondisi Umum Kabupaten Pacitan

Kabupaten Pacitan terletak diantara 7,55°-8,17° LS dan 110,55°-111,25° BT. Luas wilayah Kabupaten Pacitan adalah sebesar 1.389,87 km². Sebelah utara kabupaten Pacitan berbatasan dengan Kabupaten Ponorogo, Jawa Timur dan Kabupaten Wonogiri, Jawa Tengah. Pada sebelah timur berbatasan dengan Kabupaten Trenggalek, Jawa Timur. Pada sebelah selatan berbatasan langsung dengan samudera Indonesia. Pada sebelah barat berbatasan dengan kabupaten Wonogiri, Jawa Tengah. Jumlah kecamatan yang masuk dalam Kabupaten Pacitan ialah 12 kecamatan dengan rincian jumlah kelurahan dan desa sebanyak 5 kelurahan dan 166 desa (BPS Pacitan, 2010).

Dari aspek geologi, wilayah Kabupaten Pacitan berupa vulkanik dan karst. Pada sisi selatan Kabupaten Pacitan tepatnya pada sekitar pesisir pantai, kondisi geologinya berupa karst dengan penyusunnya batu gamping. Kondisi morfologi pada daerah ini membentuk bukit-bukit dan bergunung-gunung dengan perbedaan relief topografik yang cukup luas. Kabupaten Pacitan terdiri dari batuan terobosan, batuan gunung api, batuan sedimen, dan endapan permukaan. Menurut Samodra (1995) geologi penyusun Kabupaten Pacitan dapat dikelompokkan menjadi 11 formasi (Gambar 2.1) dengan rincian sebagaimana berikut:

- a. Formasi Alluvium yang terdiri dari kerakal, kerikil, pasir, lanau, lempung, dan lumpur.
- b. Formasi Wonosari, terdiri dari batu gamping terumbu, batu gamping berlapis, betugamping berkepingan, batu gamping pasiran, dan napal.
- c. Formasi Oyo, terdiri dari batupasir gampingan, batu pasir tufan, batu lanau gampingan, batu gamping tufan, napal pasiran, dan napal tufan.

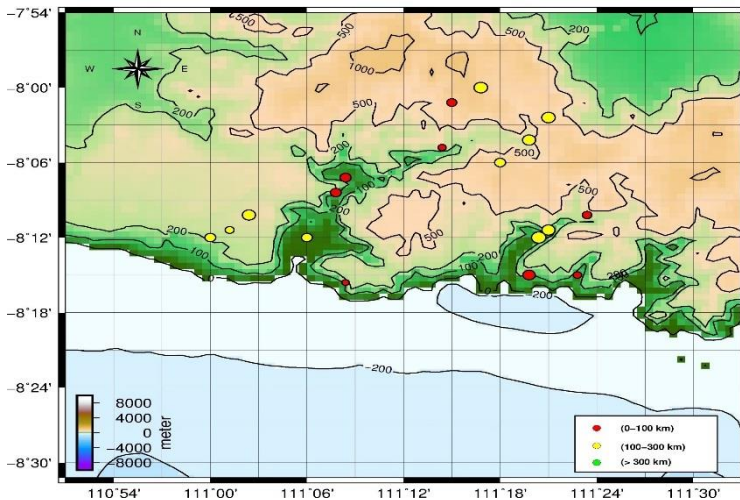
- d. Formasi Nampol, terdiri dari batu pasir tufan, batu lanau, batu gamping tufan, batu lempung, lignit, konglomerat, dan breksi gunung api.
- e. Formasi Wuni, terdiri dari breksi gunung api, tuf, batu pasir tufan, batu pasir lanau, dan batu gamping; pada daerah setempat mengandung kayu terkesikkan.
- f. Formasi Jaten, terdiri dari batu konglomerat, batu pasir konglomeratan, batu pasir tufan, batu lumpur, batu lanau, lignit, serpih karbonat dan tuf; pada daerah setempat mengandung belerang.
- g. Formasi Semilir, terdiri dari tuf, breksi batu apung, batu pasir tufan, dan batu lempung.
- h. Formasi Arjosari, terdiri dari konglomerat aneka bahan, batu pasir, batu lanau, batu gamping, batu lempung, napal pasiran, batu pasir berbatu apung, bersisipkan breksi gunung api, lava, dan tuf.
- i. Formasi Watupatok, terdiri dari lava, sisipan batu pasir, batu lempung, dan rijang.
- j. Formasi Mandalika, terdiri dari perselingan breksi gunung api, lava, tuf, bersisipan batu pasir, tufan, batu lanau, dan batu lempung.
- k. Batuan Terobosan, yang terdiri dari andesit (an), dasit (da), basal (ba), dan diorite (di).

Selain itu, pada Kabupaten Pacitan juga banyak terdapat sesar. Sesar pada daerah Pacitan merupakan sesar turun dan sesar geser. Sesar-sesar geser pada umumnya mempunyai arah barat laut-tenggara dan timur laut-barat daya. Sesar yang berarah ke timur laut-barat daya mempunyai jenis mendatar mengiri, sedangkan yang berarah barat laut-tenggara mempunyai pergerakan menganan (Sudrajat, 1993).

Salah satu sesar yang paling besar di Kabupaten Pacitan adalah Sesar Grendulu. Sesar Grendulu merupakan jalur patahan lempeng benua yang membentuk Pulau Jawa, yang membentang di lima kecamatan, yakni Kecamatan Bandar, Nawangan, Punung, Arjosari, serta Donorojo (Purwanto, 1997). Sesar Grendulu ini merupakan sesar aktif yang dapat memicu sumber gempa di daerah Pacitan.

2.2 Riwayat Gempabumi di Pacitan

Sejarah kegempaan di Kabupaten Pacitan yang telah tercatat pernah terjadi pada tahun 1818, 1840, 1859, 1904, 1921, 1925, 1957, 1994, dan 2006 (Sunarto dan Rahayu, 2007). Dari data gempa tersebut, dapat terlihat bahwa gempabumi terjadi hampir setiap 20 tahun sekali. Hal ini terjadi karena di daerah ini merupakan pertemuan kedua lempeng Indo-Australia dan Eurasia. Selain itu, Pacitan juga termasuk rawan terhadap gempabumi akibat adanya kontrol struktur sesar di daratan. Pada daerah Pacitan banyak sekali terdapat sesar aktif sehingga dapat memicu adanya gempabumi. Letak persebaran sesar dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 2 Data Epicenter gempa di Kabupaten Pacitan

Gambar 2.2 memperlihatkan beberapa data epicenter gempa yang terjadi di Kabupaten Pacitan. Epicenter gempa yang tersebar pada Kabupaten Pacitan berada di sekitar sesar. Hal ini dapat dilihat dari korelasi antara Gambar 2.2 dengan peta struktur geologi pada Gambar 2.1. Dari korelasi tersebut

dapat diketahui persebaran epicenter gempa berada di sepanjang sesar Grendulu.

Data epicenter gempa dan geologi struktur menunjukkan bahwa adanya korelasi antar keduanya. Sehingga, data epicenter gempa dapat digunakan untuk mengetahui letak dari patahan aktif (sesar).

2.3 Mikrotremor

Banyak metode yang telah berkembang untuk keperluan mitigasi kebencanaan. Salah satu yang sering digunakan adalah metode mikrotremor. Menurut Herak (2008) mikrotremor adalah sebuah noise berperiode pendek yang berasal dari sumber artifisial. Dengan kata lain, mikrotremor adalah suatu getaran yang sangat kecil dan berjalan secara terus-menerus.

Dari sumber getarannya, mikrotremor terbagi menjadi 2, yaitu sumber natural dan sumber kultural. Pada sumber natural, getaran yang terjadi berasal dari alam, misalnya: gelombang pasang air laut, angin, dan sebagainya. Sedangkan sumber kultural adalah sumber getaran akibat aktifitas manusia, misalnya: getaran yang disebabkan oleh industri, mobil, peralatan pabrik, dan sebagainya.

Gutenberg (1958), Asten (1978), Asten and Henstridge (1984) dan Bonnefoy-Claudet et al. (2006) menunjukkan bahwa sumber *noise* seismik alami memiliki frekuensi yang sangat rendah, yaitu dibawah 1 Hz. Sedangkan sumber noise seismik yang diakibatkan oleh aktifitas manusia berkisar antara 1-10 Hz. Sumber getaran mikrotremor dan besar frekuensinya dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Metode mikrotremor dapat digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik tanah (*soil investigation*). Penelitian mikrotremor umumnya dititik beratkan pada analisa perekaman *ambient noise* untuk mengetahui karakteristik lapisan tanah berdasarkan parameter periode dominan dan faktor amplifikasi gelombangnya (Herak, 2008). Akhir-akhir ini, Castellaro (2015) menggunakan analisa data mikrotremor

untuk menentukan frekuensi dan rasio damping pada tanah setempat.

Tabel 2. 1 Sumber getaran mikrotremor serta besar frekuensinya

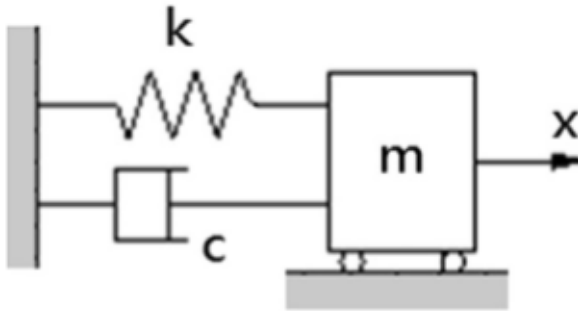
Sumber	Gutenberg (1958)	Asten (1978, 1984)
Gelombang laut	0,05 – 0,1 Hz	0,5 – 1,2 Hz
Gangguan meteorologi dengan skala besar (monsoon)	0,1 – 0,25 Hz	0,16 – 0,5 Hz
Badai siklon di sepanjang laut	0,3 – 1 Hz	0,5 – 3 Hz
Kondisi meteorologi skala local	1,4 – 5 Hz	-
Tremor vulkanik	2 – 10 Hz	-
Kepadatan penduduk	1 – 100 Hz	1,1 – 30 Hz

Penggunaan mikrotremor banyak dilakukan karena memiliki beberapa keuntungan, antara lain:

1. Dapat digunakan untuk mengklasifikasikan jenis atau karakteristik tanah berdasarkan nilai frekuensi natural dan rasio redaman. Nilai frekuensi natural dan rasio redaman berbeda dalam setiap jenis tanah. Hal ini disebabkan oleh perbedaan komposisi penyusun dari tanah, serta respon alami tanah terhadap getaran gempabumi.
2. Dapat dimanfaatkan sebagai parameter dalam membuat bangunan tahan gempa.
3. Dapat menjelaskan struktur bawah permukaan tanah (litologi) pada daerah pengamatan mikrotremor (Rahmaningtyas, 2017).

2.4 Getaran Teredam Pada Tanah

Osilasi adalah gerakan bolak-balik dengan lintasan tertentu melalui titik kesetimbangannya. Ilustrasi paling sederhana untuk menggambarkan osilasi teredam terdapat pada Gambar 2.3. Gambar 2.3 merupakan mekanisme sistem pegas-massa-peredam.



Gambar 2.3 Ilustrasi pegas-massa-benda diambil dari (Castellaro, 2015)

Pada umumnya getaran (osilasi) terjadi secara terus menerus. Dalam kenyataannya amplitudo pada setiap getaran perlahan-lahan berkurang sebagai fungsi waktu, dan akhirnya berhenti. Peristiwa tersebut disebut getaran teredam.

Redaman dapat disebabkan oleh adanya gaya dari luar yang mempengaruhi sistem. Pada Gambar 2.3, redaman disebabkan oleh adanya gaya gesek yang melawan dari arah gerak bendanya.

Model matematis sistem osilasi (pegas-massa-benda) dapat dilihat pada Persamaan 2.1.

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{c}{m} \frac{dx}{dt} + \frac{k}{m} x = 0 \quad (2.1)$$

dengan x adalah perpindahan, m adalah massa, c adalah material peredam, dan k adalah kekakuan benda (Cole, 1973).

Secara umum, solusi Persamaan 2.1 berbentuk $x = Ce^{\delta t}$, dengan C bernilai konstan. Dengan demikian, $\frac{dx}{dt} = \delta Ce^{\delta t}$ dan $\frac{d^2x}{dt^2} = \delta^2 Ce^{\delta t}$, maka Persamaan 2.1 dapat ditulis dalam bentuk:

$$Ce^{\delta t} \left[\delta^2 + \frac{c}{m} \delta + \frac{k}{m} \right] = 0 \quad (2.2)$$

Agar Persamaan 2.1 memiliki solusi, maka bagian kanan dari Persamaan 2.2 harus bernilai nol, $\delta^2 + \frac{c}{m} \delta + \frac{k}{m} = 0$. Parameter

teredam δ dapat diestimasi melalui solusi persamaan kuadrat. Parameter ini dapat dideskripsikan sebagaimana berikut:

$$\delta_1 = -p + \sqrt{q} \text{ dan } \delta_2 = -p - \sqrt{q} \quad (2.3)$$

Dengan, $p = \frac{b}{2m}$ dan $q = \frac{b^2}{4m^2} - \frac{k}{m}$

Terdapat 3 jenis redaman (*damping*) yang dialami benda pada saat berosilasi, antara lain:

1. *Underdamped*

Underdamped terjadi apabila suatu benda masih melakukan beberapa osilasi sebelum berhenti. Hal ini diakibatkan oleh redaman yang dialaminya tidak terlalu besar. Kondisi *underdamped* memiliki nilai $q < 0$, maka \sqrt{q} bernilai imajiner. Solusi persamaan *underdamped* dapat dilihat pada Persamaan 2.4.

$$X(t) = Ae^{-\left(\frac{c}{2m}\right)t} \cos(\omega t - \theta) \quad (2.4)$$

2. *Critically damped*

Benda yang mengalami redaman kritis biasanya langsung berhenti berosilasi. Hal ini dikarenakan oleh redaman yang sama besar dengan energi osilasinya. Kondisi ini memiliki nilai $q = 0$, yang artinya $\frac{b^2}{4m^2} = \frac{k}{m}$. Solusi persamaan *critically damped* dapat dilihat pada Persamaan 2.5.

$$X(t) = e^{-\left(\frac{c}{2m}\right)t} (A + Bt) \quad (2.5)$$

Dengan A dan B adalah konstanta.

3. *Overdamped*

Overdamped hampir sama dengan *critically damped*. Bedanya, pada *critically damped* benda berhenti pada posisi kesetimbangannya, sedangkan pada *overdamped* benda telah berhenti sebelum sampai di titik kesetimbangannya. Hal ini dikarenakan adanya redaman yang sangat besar. Kondisi *overdamped* memiliki nilai $q > 0$. Solusi persamaan *overdamped* adalah sebagai berikut:

$$X(t) = e^{-\left(\frac{c}{2m}\right)t} \sinh \sqrt{\left(\frac{b^2}{4m^2} - \frac{k}{m}\right)t} \quad (2.6)$$

Pada kasus getaran teredam pada tanah, jenis getaran yang sesuai adalah *underdamped*. Hal ini terjadi karena tanah mampu merambatkan energi getaran. Namun, struktur tanah akan meredam energi getaran tersebut. Sehingga, solusi persamaan yang sesuai untuk getaran teredam pada tanah adalah Persamaan 2.4. Dengan nilai $\left(\frac{c}{2m}\right) = \xi\omega$, maka Persamaan getaran teredam pada tanah adalah sebagai berikut:

$$A = A_0 e^{-\xi\omega t} \cos(\omega_d t - \theta) \quad (2.7)$$

Dengan ξ adalah rasio redaman, ω adalah frekuensi natural, dan ω_d adalah frekuensi teredam.

2.5 Random Decrement Method (RDM)

Pada saat ini, banyak sekali metode yang digunakan dalam hal survei geoteknik dan geofisika. Survei ini digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik tanah. Selain itu, survei juga dapat digunakan sebagai salah satu upaya penanggulangan bencana alam khususnya gempabumi. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik tanah dari respon alami gempabumi adalah metode *Random Decrement* (RDM). Metode ini diperkenalkan oleh Cole (1993) untuk menganalisa redaman pada struktur pesawat. Selanjutnya, Castellaro (2015) memanfaatkan metode RDM untuk menganalisa respon alami tanah terhadap getaran yang mengenainya.

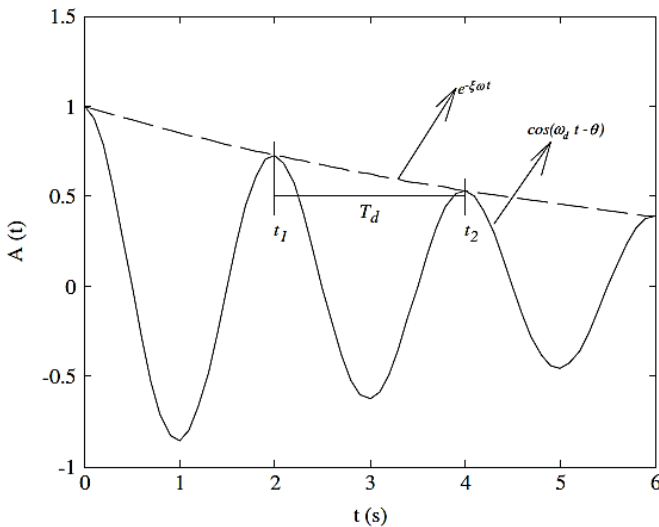
Metode RDM berfungsi untuk mengeliminasi getaran acak menjadi kurva getaran teredam. Kurva getaran teredam dapat dilihat pada Gambar 2.4. Dari kurva getaran teredam ini, selanjutnya dapat diketahui nilai rasio redaman dan frekuensi natural.

Langkah-langkah RDM ialah sebagai berikut:

1. Data getaran yang acak difilter menggunakan *bandpass filter*.
2. Amplitudo absolut ambang (y_s) ditentukan. Penentuan y_s memungkinkan adanya eliminasi data yang tidak

diperlukan. Penentuan ini digunakan untuk penentuan data *triggering*.

3. Getaran dibagi ke dalam beberapa subsegmen (partisi). Subsegmen d itentukan berdasarkan durasi waktu.
4. Amplitudo yang lebih besar dari y_s pada setiap subsegmen digunakan untuk membentuk data getaran teredam.
5. Setelah didapatkan beberapa subsegmen, maka semua subsegmen dirata-rata.
6. Hasil rata-rata ini membentuk kurva kurva getaran teredam.



Gambar 2.4 Kurva getaran teredam diambil dari (Fernández-Heredia et al.,2012)

Setelah didapatkan kurva getaran teredam, digunakan untuk penentuan rasio redaman dan frekuensi natural. Langkah-langkah dalam menentukan nilai rasio redaman dan frekuensi natural adalah sebagai berikut:

1. Puncak-puncak amplitudo dan waktu yang berkaitan pada kurva getaran teredam ditentukan.

2. Dilakukan regresi linier dari amplitudo puncak terhadap waktunya untuk mengetahui gradien dari kurva getaran teredam. Rasio redaman dapat diketahui dari gradien kurva getaran teredam.

Gambar 2.4 memperlihatkan adanya peluruhan amplitudo dari kurva getaran teredam yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$A = A_0 e^{-\xi \omega t} \quad (2.8)$$

Dengan A adalah amplitudo, A_0 adalah amplitudo awal, ξ adalah rasio redaman, dan ω adalah frekuensi angular teredam.

Misalkan $\frac{A}{A_0} = B$, maka Persamaan 2.7 menjadi

$$B = e^{-\xi \omega t} \quad (2.9)$$

Untuk mengetahui besar ξ maka natural logaritmik digunakan untuk kedua ruas, sehingga menghasilkan:

$$\ln B = -\xi \omega t \quad (2.10)$$

Persamaan garis lurus adalah $y = B + A_x$, dengan A_x adalah gradien. Maka substitusi persamaan garis lurus ke Persamaan 2.9 menghasilkan besar rasio redaman.

$$\ln B = \xi \omega_t$$

$$\xi = \frac{\ln B}{\omega_t} \quad (2.11)$$

2.6 Frekuensi Natural dan Rasio Redaman

Hasil analisa RDM ialah frekuensi natural dan rasio redaman. Frekuensi natural merepresentasikan banyaknya gelombang yang terjadi dalam satuan waktu. Besar kecilnya frekuensi natural f dipengaruhi oleh kecepatan rata-rata gelombang geser V_s dan ketebalan suatu sedimen H di bawah permukaan tanah sebagaimana Persamaan 2.11.

$$f = \frac{V_s}{4H} \quad (2.12)$$

Persamaan ini menunjukkan bahwa frekuensi natural berbanding lurus dengan kecepatan gelombang geser, namun berbanding terbalik dengan ketebalan sedimen tanah (ketebalan bedrock). Selain itu, persamaan ini juga mengindikasikan bahwa ketebalan lapisan sedimen lebih besar pengaruhnya pada frekuensi daripada kecepatan gelombang geser.

Selain itu, jenis material pada tanah dipengaruhi oleh besarnya kekakuan tanah (μ) dan densitas batuan (ρ). Kedua parameter ini berhubungan dengan kecepatan gelombang geser (V_s). Dengan nilai $V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$, maka Persamaan rasio redaman menjadi:

$$f = \frac{1}{4H} \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (213)$$

Selanjutnya, rasio redaman merupakan parameter yang menunjukkan adanya penyerapan energi (redaman) dari suatu medium. Medium yang dimaksud dalam penelitian ini ialah tanah atau batuan. Rasio redaman dapat digunakan untuk menganalisa kemampuan suatu tanah dalam meredukasi energi getaran dari luar (Wulandari, 2012).

Salah satu parameter yang dapat mengindikasikan adanya redaman pada suatu getaran adalah pengurangan amplitudo. Pengurangan amplitudo dapat memperlihatkan adanya pengurangan energi dari sistem osilasi sebagaimana pada Persamaan 2.14.

$$\frac{2\pi}{Q} = \frac{\Delta E}{E} \quad (2.14)$$

Dengan Q adalah *quality factor*, E adalah energi dari sistem osilasi, dan ΔE adalah energi yang hilang dari sistem osilasi.

Dari definisi diatas, pengurangan energi pada sistem osilasi dapat dilihat pada Persamaan 2.15.

$$A = A_0 e^{-\omega t/2Q} \quad (2.15)$$

Solusi persamaan linier getaran teredam dapat dilihat pada Persamaan 2.7. Dari sistem getaran teredam akan didapatkan

besar nilai pengurangan amplitudo. Pengurangan amplitudo dari sistem osilasi tersebut adalah sebagai berikut:

$$A = A_0 e^{-\xi t} \quad (2.16)$$

Substitusi antara Persamaan 2.15 ke Persamaan 2.16 menghasilkan besar rasio redaman.

$$\xi = \frac{1}{2Q} \quad (2.17)$$

Dilain sisi, solusi dari pengurangan amplitudo getaran dapat dilihat dari parameter kappa (κ) (dalam domain frekuensi).

$$A = A_0 e^{-\pi \kappa f}; f > f_E \quad (2.18)$$

Persamaan 2.13 menunjukkan bahwa pengurangan amplitudo getaran dipengaruhi oleh medan yang dilalui oleh getaran ketika merambat, serta jenis material yang dilewati. Dengan κ adalah pengurangan energi getaran yang dihasilkan dari setiap material.

Substitusi antara parameter kappa dan pengurangan energi getaran menghasilkan persamaan sebagaimana berikut:

$$-\pi \kappa f = -\frac{\omega t}{2Q} \quad (2.19)$$

Menurut Fernandez (2012), apabila penelitian menggunakan setengah lapisan, maka efek dari medan yang dilalui oleh getaran dapat dihilangkan ($\kappa = \kappa_0$).

Substitusi antara κ_0 dengan $\omega = 2\pi f$ pada Persamaan 2.19 akan menghasilkan:

$$\kappa_0 = \frac{t}{Q} \quad (2.20)$$

Nilai parameter kappa dipengaruhi oleh besarnya ketebalan lapisan dan kecepatan gelombang geser sebagaimana terdapat pada Persamaan 2.20.

$$\kappa_0 = \frac{H}{QV_s} \quad (2.21)$$

Dengan didapatkannya solusi nilai Q dari Persamaan 2.20, selanjutnya disubstitusi ke Persamaan 2.16 dan didapatkan besar rasio redaman dengan parameter kappa.

$$\xi = \frac{V_s}{2H} \kappa_0 \quad (2.22)$$

Persamaan 2.20 menunjukkan besar nilai rasio redaman berbanding lurus dengan kecepatan gelombang geser dan parameter kappa serta berbanding terbalik dengan ketebalan lapisan. Selain itu, adanya parameter kappa dapat menunjukkan pengaruh dari jenis material terhadap rasio redaman (Fernández-Heredia et al., 2012).

2.7 Fuzzy Clustering

Clustering adalah suatu cara untuk melakukan pengelompokan data menurut karakteristiknya masing-masing. Dalam prosesnya *clustering* terdiri dari dua pendekatan, yaitu dengan pendekatan hirarki dan pendekatan partisi. *Clustering* menggunakan pendekatan hirarki didasarkan pada satu data sampel yang dapat menggambarkan sebuah kelompok. Sehingga semua data dapat tergabung dalam beberapa kelompok menurut sampel yang digunakan. Sedangkan *clustering* menggunakan pendekatan partisi adalah mengelompokkan data dengan memilah-milah data kedalam kelompok-kelompok yang memiliki karakteristik yang mirip.

Salah satu metode yang digunakan dalam *clustering* data adalah *Fuzzy C-Means* (FCM). FCM didasarkan pada teori logika *fuzzy*. Teori ini pertama kali diperkenalkan oleh Lotfi Zadeh (1965). Konsep dasar dari FCM adalah menentukan pusat cluster, yang selanjutnya akan menandai lokasi rata-rata pada setiap derajat keanggotaannya. Output dari FCM merupakan deretan pusat cluster dan beberapa derajat keanggotaan pada setiap titik data.

FCM dapat digunakan dalam penentuan tingkat kerawanan suatu daerah terhadap getaran gempabumi. Dengan menggunakan FCM, data rasio redaman dan frekuensi natural

dapat dikelompokkan. Kedua data yang bernilai rendah menjadi satu dan menandakan daerah tersebut termasuk kedalam zona rawan. Sedangkan apabila kedua data menunjukkan nilai yang besar, maka daerah tersebut termasuk kedalam zona aman.

Menurut Andriyani (2013), langkah-langkah algoritma *Fuzzy C-Means* adalah sebagai berikut,

1. Menentukan data yang akan dikelompokkan ke dalam matriks X berukuran $n \times m$. Dengan n adalah banyaknya sampel data dan m adalah banyaknya variable pada setiap data.
2. Menentukan banyaknya kluster yang akan dibentuk (c), pangkat pembobot (w), maksimum iterasi (MaxItr), error terkecil (ξ), fungsi obyektif awal ($P_0=0$), dan iterasi awal ($t=1$).
3. Matriks awal $U_{n \times c} = [\mu_{ik}]$, μ_{ik} adalah bilangan random yang menyatakan suatu derajad keanggotaan.
4. Hitung pusat cluster ke- k (V_{kj}) dengan $k=1,2,\dots,c$; dan $j=1,2,\dots,m$ seperti pada Persamaan 2.22.

$$V_{kj} = \frac{\sum_{i=1}^n (\mu_{ik})^w \cdot X_{ij}}{\sum_{i=1}^n (\mu_{ik})^w} \quad (2.22)$$

5. Hitung fungsi obyektif pada iterasi ke- t , P_t yang menggambarkan jumlah jarak data ke pusat cluster.

$$P_t = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^c \left(\left[\sum_{j=1}^m (X_{ij} - V_{kj})^2 \right] (\mu_{ik})^w \right) \quad (2.23)$$

Dengan P_t adalah fungsi obyektif; X_{ij} adalah elemen baris serta kolom j ; dan V_{kj} adalah pusat cluster.

6. Perbaiki derajad keanggotaan matriks partisi:

$$\mu_{ik} = \frac{\left[\sum_{j=1}^m (X_{ij} - V_{kj})^2 \right]^{\frac{-1}{w-1}}}{\sum_{k=1}^c \left[\sum_{j=1}^m (X_{ij} - V_{kj})^2 \right]^{\frac{-1}{w-1}}} \quad (2.24)$$

7. Mengecek kondisi berhenti:
 - a. Jika: $(|P_t - P_{t-1}| < \xi)$ atau $(t > \text{MakIter})$ maka berhenti;
 - b. Jika tidak: $t=t+1$, ulangi langkah ke-4 (menghitung V_{kj}).

2.8 Mikrozonasi

Mikrozonasi adalah proses pembagian area berdasarkan parameter atau karakteristik tertentu. Secara umum, peta mikrozonasi dapat digunakan untuk menggambarkan potensi bahaya bencana alam pada suatu wilayah.

Bahaya yang berkaitan dengan mikrozonasi kegempaan adalah amplifikasi getaran tanah, likuifaksi, potensi longsor, dan gempabumi. Peta mikrozonasi dapat dikombinasikan dengan parameter-parameter pada analisa mikrotremor di suatu daerah. Kombinasi ini digunakan untuk mengembangkan berbagai strategi penanggulangan bencana alam pada daerah penelitian (Afriliani, 2014).

Peta mikrozonasi dapat dibuat dengan beberapa *software*. Salah satu *software* yang sering digunakan untuk membuat peta mikrozonasi mikrotremor adalah Arcgis 10.4. Hasil dari mikrozonasi menunjukkan tingkat kerawanan pada daerah penelitian. Parameter-parameter pada analisa mikrotremor yang dapat digunakan untuk menganalisa tingkat kerawanan suatu daerah terhadap getaran gempabumi adalah frekuensi natural dan rasio redaman. Daerah dikatakan rawan terhadap gempabumi ketika memiliki nilai frekuensi natural dan rasio redaman yang kecil.

Dalam pembuatan peta mikrozonasi pada suatu daerah tidak dapat menjadi acuan pada daerah yang lain. Hal ini dikarenakan informasi pada setiap daerah akan berbeda-beda sesuai dengan karakteristik tanah dan batuan (Wang, 2008).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Peralatan Penelitian

Penelitian tugas akhir ini, menggunakan beberapa peralatan sebagaimana Gambar 3.1 dengan masing-masing peralatan dipaparkan sebagaimana berikut:

1. Mikrotremor
Mikrotremor ini terdiri dari alat *portable digital seismograph* 3 komponen (2 komponen horisontal: *East-West* dan *North-South* dan 1 komponen vertikal) yang digunakan untuk perekaman data mikrotremor.
2. GPS (*Global Positioning Sistem*)
GPS digunakan untuk mengetahui posisi pengambilan data. Data yang telah ditentukan dapat diketahui lokasinya dengan menggunakan GPS.
3. Kompas
Pada penelitian ini, kompas digunakan untuk menentukan arah utara pada pemasangan 3 komponen mikrotremor.
4. Kabel
Kabel pada penelitian ini diperlukan untuk menghubungkan *portable digital seismograph* dengan seismometer. Seismometer digunakan untuk mendeteksi adanya getaran yang selanjutnya akan direkam oleh *portable digital seismograph*.
5. Aki
Aki digunakan sebagai sumber tenaga listrik pada rangkaian mikrotremor, sehingga semua komponen dapat bekerja sebagaimana mestinya.
6. Laptop
Laptop digunakan untuk melakukan pengolahan data dan analisa data dari penelitian yang dilakukan.



Gambar 3. 1 Peralatan penelitian (a) 1 set mikrotremor, (b) aki, (c) GPS, (d) kompas, (e) laptop

3.2 Tahapan penelitian

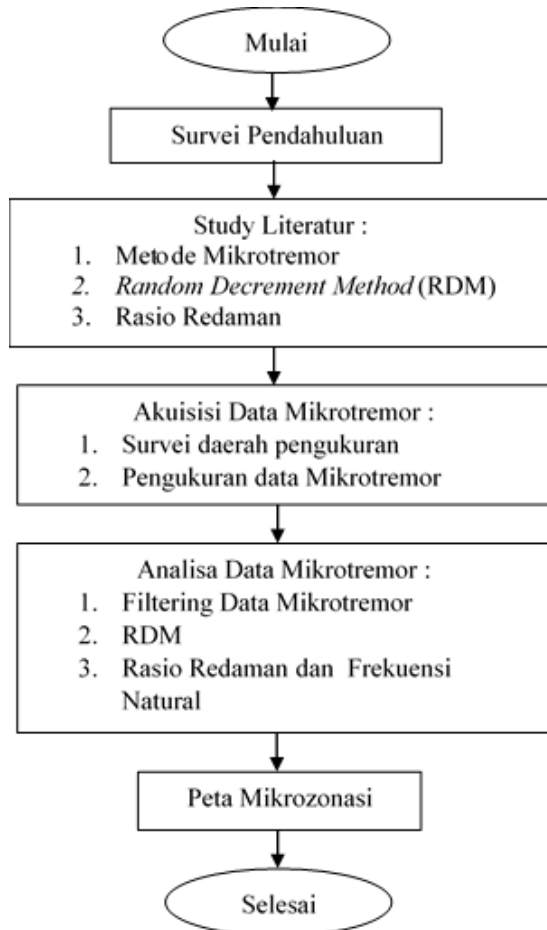
Gambar 3.2 merupakan diagram alir penelitian. Diagram alir ini menunjukkan tahapan-tahapan untuk melakukan penelitian mikrotremor dengan metode RDM. Hasil dari analisa RDM adalah frekuensi natural dan rasio redaman. Frekuensi natural dan rasio redaman digunakan sebagai parameter untuk membuat peta mikrozonasi kegempaan.

Untuk mempermudah memahami alur penelitian ini, langkah-langkah penelitian ini dijabarkan sebagai berikut:

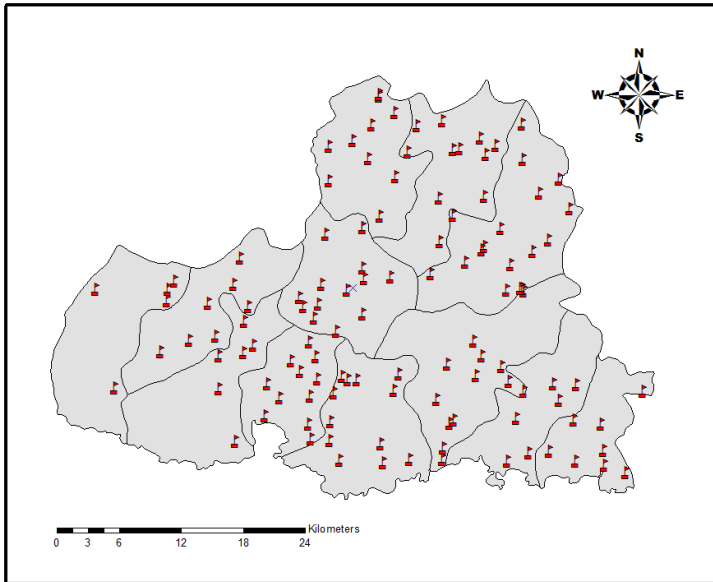
1. Studi Literatur

Studi literatur ini digunakan sebagai bahan acuan dalam penelitian. Agar penelitian ini berjalan lancar, maka pemahaman konsep dasar tentang tema penelitian harus difahami dengan benar. Pemahaman konsep dasar digunakan untuk mempelajari metode penelitian (desain pengukuran dan analisa data) dan kondisi geologi. Selain itu, studi literatur juga

digunakan untuk memahami parameter yang didapatkan dari hasil analisa menggunakan RDM. Studi literatur ini didapatkan dari beberapa sumber, yaitu dari buku, jurnal nasional maupun internasional, serta beberapa tugas akhir sebelumnya yang memiliki metode dan tujuan yang sama dengan penelitian ini.



Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 3 Desain Pengukuran penelitian RDM

2. Survei Lokasi Penelitian

Langkah pertama dalam tahapan penelitian adalah survei awal lokasi penelitian. Survei awal ini perlu dilakukan untuk mengetahui kondisi real dari lokasi penelitian. Selain itu survei awal juga digunakan untuk membuat rancangan titik pengukuran. Desain pengukuran ini dirancang sebagaimana Gambar 3.3.

3. Akuisi Data Mikrotremor

Pengambilan data mikrotremor dilakukan sebanyak 120 titik berdasarkan desain pengukuran. Waktu yang diperlukan untuk perekaman data ialah 30 menit untuk mendapatkan frekuensi sampling sebesar 0,2 Hz. Selama pengukuran berlangsung dianjurkan tidak memberikan gerakan berlebihan, hal ini dimaksudkan untuk menghindari *noise* saat perekaman data.

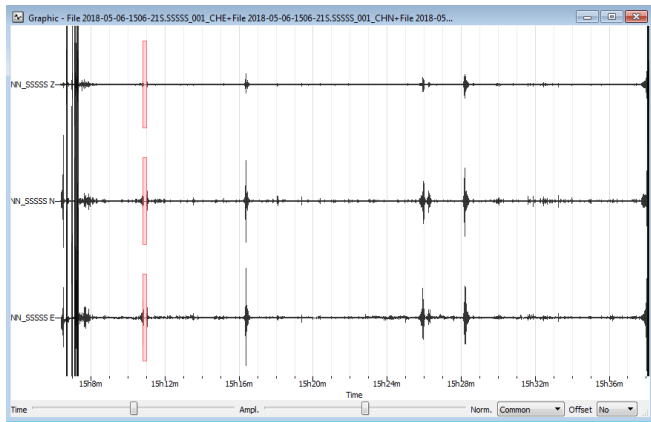
4. Pengolahan Data Mikrotremor

Data hasil pengukuran adalah berupa *file seed*. Pengolahan data mikrotremor menggunakan *software* Geopsy dengan pilihan metode analisa RDM. Dari pengolahan menggunakan metode RDM dihasilkan frekuensi natural dan rasio redaman. Selanjutnya, 2 parameter ini digunakan untuk membuat mikrozonasi kegempaan.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

Akuisisi data lapangan pada penelitian ini dilakukan di Kabupaten Pacitan. Akuisisi data dilakukan menurut desain pengukuran. Rentang waktu pengukuran dibatasi sesuai jenis formasi yang diukur. Hasil analisa pengukuran data mikrotremor pada titik 6 ialah sebagaimana pada Gambar 4.1. Data yang terekam ialah amplitudo gelombang vertikal (NN_SSSSS Z) dan horisontal (NN_SSSSS N dan NN_SSSSS E).

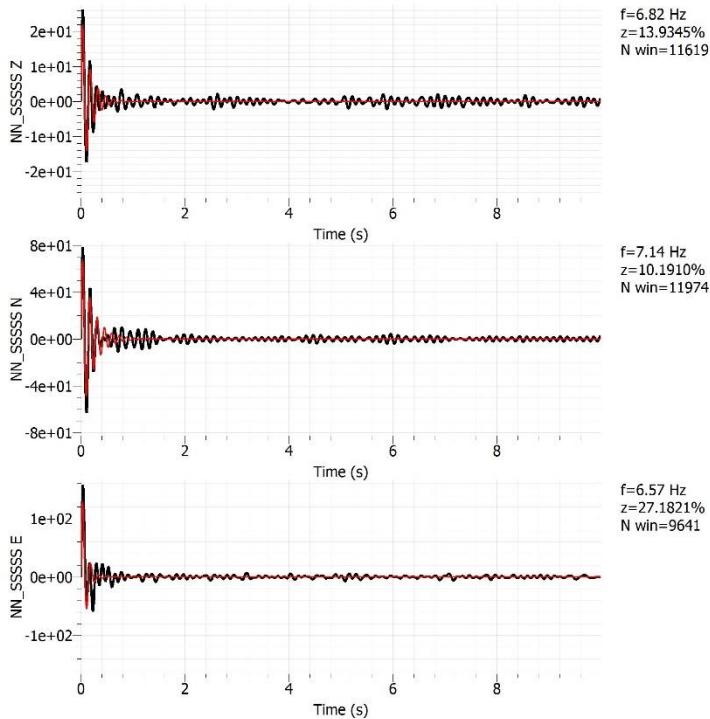


Gambar 4. 1 Data hasil pengukuran lapangan pada titik 6

Untuk mengetahui besar nilai rasio redaman terlebih dahulu digunakan analisis spektrum untuk menentukan rentang frekuensi yang digunakan. Analisa spektrum ini digunakan untuk *band pass filter*. Langkah selanjutnya adalah dilakukan proses *time limits* untuk menerapkan metode RDM pada rentang waktu yang sesuai.

Hasil dari analisa RDM pada titik 6 sebagaimana Gambar 4.2, menunjukkan nilai frekuensi natural sebesar 7,14 Hz dan rasio redaman 10,19% untuk arah NS, nilai frekuensi natural

sebesar 6,57 Hz dan rasio redaman 27,18% untuk arah EW, serta nilai frekuensi natural sebesar 6,82 Hz dan rasio redaman 13,93% pada arah vertikal.

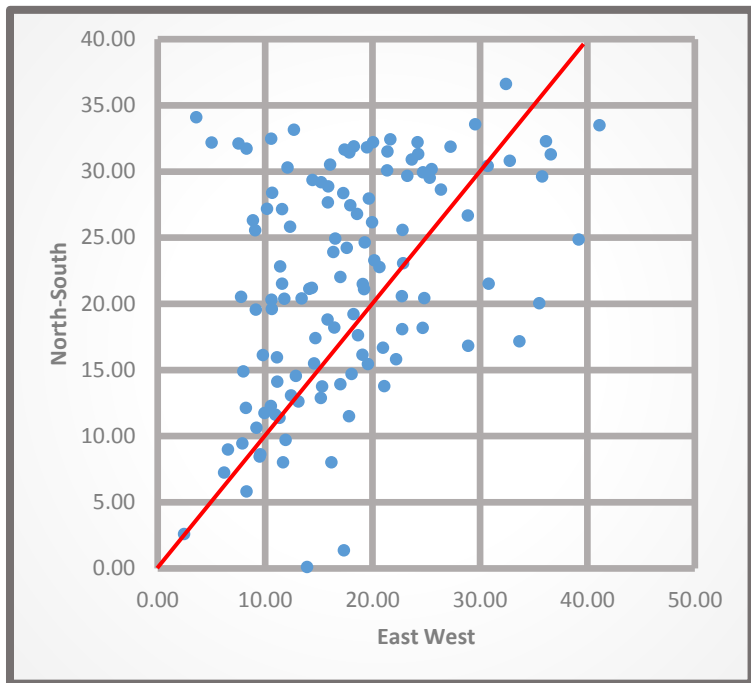


Gambar 4. 2 Analisis *damping ratio* menggunakan RDM di titik 6

4.2 Pembahasan

Setiap titik pengukuran didapatkan 3 nilai rasio redaman dan frekuensi natural. Ketiga nilai tersebut berasal dari arah *East-West*, *North-South*, dan *Up-Down* (vertikal). Namun, pada penelitian ini hanya digunakan data rasio redaman pada arah horisontal (*East-West* dan *North-South*). Sebab, menurut Fernández-Heredia et al., (2012) getaran yang merambat dari arah vertical dipengaruhi oleh penguatan gelombang, sedangkan pada arah horizontal tidak. Sehingga pada arah

vertikal menunjukkan kisaran nilai yang cukup berbeda dengan arah horizontal.

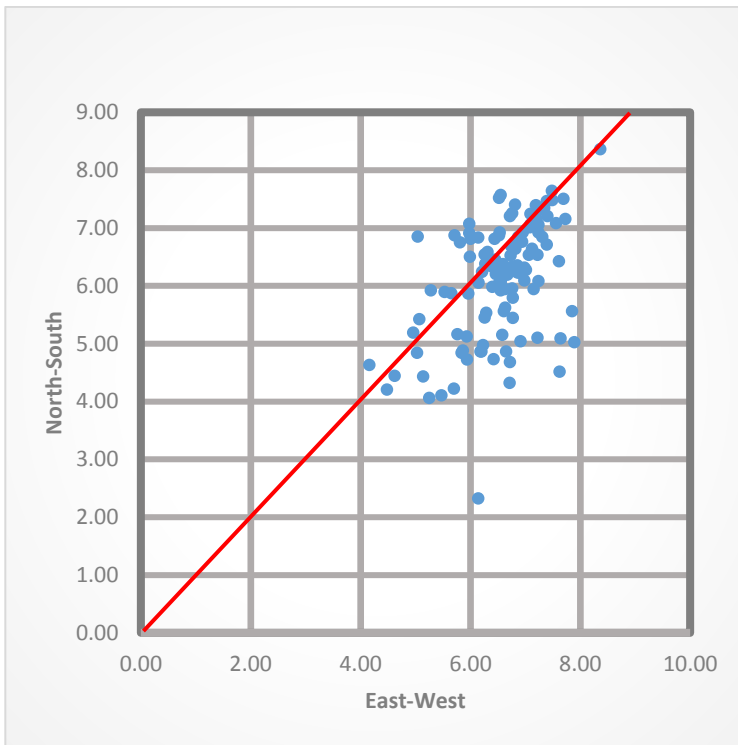


Gambar 4. 3 Grafik data rasio redaman arah *east-west* terhadap *north-south*

Secara umum nilai rasio redaman pada arah *east-west* dan *north-south* tidak jauh berbeda, namun dalam beberapa titik terdapat perbedaan nilai yang cukup besar, hal ini disebabkan oleh kondisi tanah di daerah penelitian yang bersifat anisotropis. Sehingga kedua data tersebut ditampilkan masing-masing. Untuk mengetahui keseksamaan nilai rasio redaman pada arah EW dan NS dapat dilihat pada Gambar 4.3.

Selain nilai rasio redaman, analisa mikrotremor menggunakan RDM juga menghasilkan nilai frekuensi natural. Pada penelitian ini nilai frekuensi natural yang digunakan hanya

satu, karena nilai frekuensi untuk arah EW dan NS memiliki nilai yang hampir sama antar arah, sebagaimana pada Gambar 4.4. Gambar 4.4 menunjukkan grafik hubungan antara data frekuensi natural EW terhadap NS, dengan disediakan garis $y=x$. Dari grafik ini menunjukkan bahwa persebaran titik frekuensi natural yang mendekati garis $y=x$, sehingga data frekuensi natural dapat dikatakan sama.



Gambar 4. 4 Hubungan frekuensi natural arah *east-west* terhadap *north-south*

4.2.1 Analisa Rasio Redaman

Salah satu parameter yang paling penting untuk mengidentifikasi kerentanan suatu tanah terhadap energi gempa adalah rasio redaman. Rasio redaman merepresentasikan

kekuatan suatu formasi batuan dalam menyerap energi. Apabila nilai rasio redaman pada suatu formasi batuan bernilai besar, maka pada formasi batuan tersebut dapat menyerap energi dengan cukup besar. Hal ini dapat mengindikasikan adanya pengurangan kekuatan getaran gempa yang cukup besar, sehingga rasio kerusakan yang ditimbulkan akan mengecil.

Nilai rasio redaman pada penelitian ini berkisar antara 22,45%–41,11% untuk arah NS dan 0,11%–36,62% pada arah EW. Titik yang memiliki nilai rasio redaman terendah adalah titik 26 dengan nilai 0,11%. Pada titik 26 ini, terdapat anomali nilai rasio redaman. Hal ini dapat diketahui dari nilai rasio redaman pada arah NS sebesar 13,91% yang berbeda dengan arah EW yang memiliki nilai rasio redamannya sebesar 0,11%. Dari kedua data tersebut memperlihatkan perbedaan rasio redaman yang cukup jauh.

Perbedaan nilai rasio redaman pada arah EW dan NS disebabkan oleh tanah di daerah penelitian yang bersifat anisotropi. Tanah yang bersifat anisotropi memiliki perbedaan parameter fisika (*damping ratio*) pada setiap arah (NS dan EW). Untuk kasus pada titik 26 terlihat bahwa arah NS lebih kuat dalam menerima getaran, sehingga nilai rasio redamannya terlihat lebih besar dibandingkan dengan arah EW.

Selanjutnya, parameter yang mempengaruhi besar rasio redaman adalah kecepatan gelombang geser (V_s) dan ketebalan lapisan tanah (H) sebagaimana pada Persamaan 2.22. Dari persamaan tersebut, diketahui bahwa nilai rasio redaman berbanding lurus dengan kecepatan gelombang geser, serta berbanding terbalik dengan ketebalan lapisan.

Tanah yang memiliki kecepatan gelombang geser besar menunjukkan nilai rasio redaman yang besar. Nilai rasio redaman yang besar memungkinkan pengurangan (penyerapan) energi gempabumi yang terjadi pada lapisan tersebut semakin besar. Apabila energi yang terserap semakin besar, maka pada daerah tersebut dapat dikatakan aman, atau memiliki tingkat

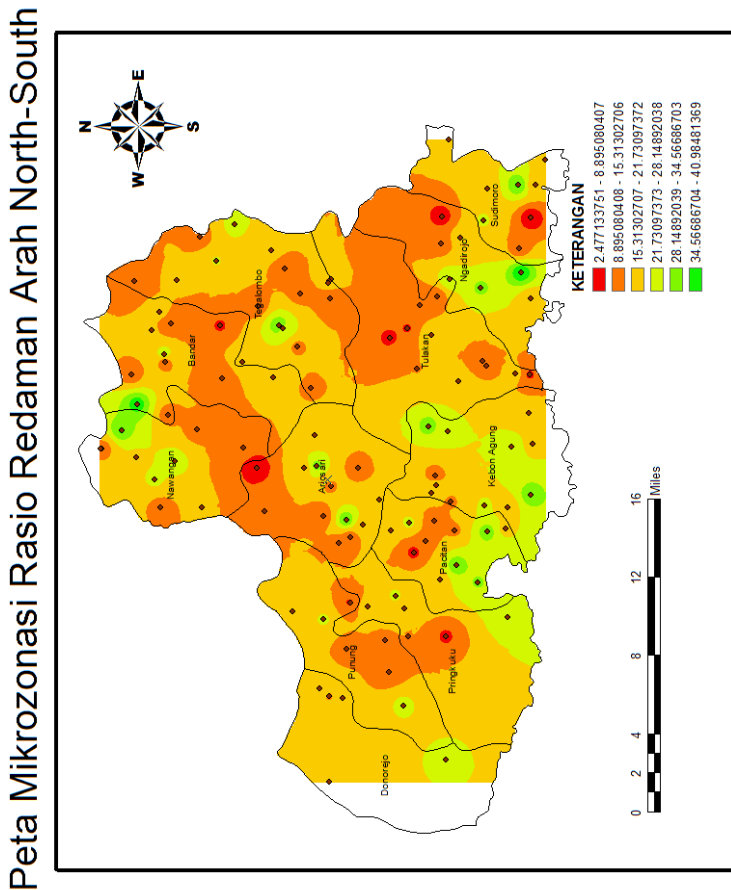
kerusakan yang kecil. Dengan nilai V_s yang sebanding dengan rasio redaman, maka semakin besar kecepatan gelombang geser pada lapisan tanah, nilai kerusakan yang terjadi semakin mengecil.

Tabel 4. 1 Deskripsi data rasio redaman pada setiap formasi di Kabupaten Pacitan

No.	Formasi	N (%)		E (%)	
		min	maks	min	Maks
1	Wonosari	2,45	30,82	2,61	32,43
2	Oyo	7,53	18,04	14,69	32,11
3	Nampol	12,42	17,32	1,37	14,69
4	Wuni	8,27	19,10	17,40	29,18
5	Jaten	7,78	23,24	11,51	31,51
6	Arjosari	5,02	36,59	8,99	33,56
7	Alluvium	10,94	41,12	0,11	36,62
8	Watupatok	7,97	36,14	8,46	32,28
9	Semilir	8,28	22,84	5,81	23,06
10	Mandalika	3,61	30,73	8,02	34,10
11	Dayakan	11,14	27,28	14,11	31,87

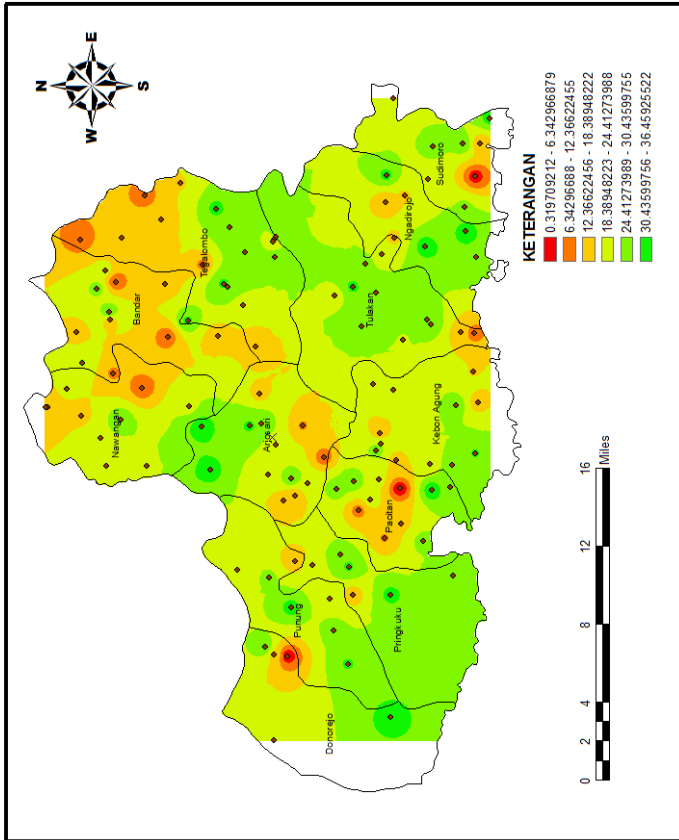
Tabel 4.1 menunjukkan bahwa daerah yang memiliki nilai rasio redaman kecil terdapat pada Formasi Alluvium. Formasi Alluvium terdiri dari kerakal, kerikil, pasir, lanau, lempung, dan lumpur. Dari batuan penyusun tersebut, dapat diketahui bahwa batuan penyusun dominan pada Formasi Alluvium adalah batuan pasir. Batu pasir termasuk kedalam batuan sedimen. Batuan sedimen merupakan batuan yang terbentuk dari proses pengendapan hasil pelapukan batuan. Ditinjau dari V_s pada setiap jenis batuan, batuan sedimen biasanya memiliki nilai V_s kecil. Nilai V_s ini dapat mempengaruhi nilai rasio redaman, dimana V_s dan rasio redaman berbanding lurus. Sehingga, dapat diketahui bahwa formasi yang memiliki nilai rasio redaman

terkecil (Formasi Alluvium) disebabkan oleh kecepatan gelombang gesernya.



Gambar 4. 5 Peta mikrozonasi rasio redaman pada Kabupaten Pacitan dari arah North-South

Peta Mikrozonasi Rasio Redaman Arah East-West



Gambar 4. 6 Peta mikrozonasi rasio redaman pada Kabupaten Pacitan dari arah East-West

Gambar 4.5 adalah peta mikrozonasi dengan parameter rasio redaman dari arah *North-South*. Sedangkan Gambar 4.6 adalah peta mikrozonasi yang berasal dari arah *East-West*. Menurut Gambar 4.5, daerah yang memiliki nilai rasio redaman kecil berada pada Kecamatan Arjosari, Kecamatan Pacitan, Tulakan, Ngadirojo, dan Sudimoro. Sedangkan pada Gambar 4.6 dapat diketahui daerah yang memiliki nilai rasio redaman

kecil berada pada Kecamatan Donorejo (bagian atas), Kecamatan Pacitan, Kecamatan Sudimoro, Kecamatan Bandar, dan Kecamatan Tegalombo. Nilai rasio redaman pada daerah penelitian dapat menggambarkan tingkat kerawanan terhadap energi gempabumi. Dari kedua gambar tersebut dapat diketahui bahwa daerah yang memiliki nilai rasio redaman rendah dari arah EW maupun NS. Daerah yang menunjukkan nilai rasio redaman kecil pada kedua gambar tersebut adalah Kecamatan Pacitan dan Sudimoro. Sehingga, kedua daerah tersebut memiliki tingkat kerawanan yang tinggi ketika terjadi gempabumi.

Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 memperlihatkan adanya perbedaan parameter warna. Perbedaan parameter warna peta mikrozonasi ini diakibatkan oleh tanah pada Kabupaten Pacitan yang bersifat anisotropis. Tanah anisotropis mengakibatkan kekuatan pada setiap arah (NS, EW, dan vertikal) berbeda-beda ketika terkena gaya luar.

4.2.2 Analisa Frekuensi Natural

Menurut Castellaro (2015), frekuensi natural hasil dari analisa RDM dapat digunakan untuk mengestimasi frekuensi natural tanah. Dari frekuensi natural tanah akan diketahui tingkat kerentanan suatu tanah ketika terkena getaran gempabumi.

Tabel 4.2 menunjukkan nilai kisaran frekuensi natural dari setiap formasi batuan di Kabupaten Pacitan. Tabel ini mengindikasikan bahwa frekuensi natural terendah berada pada Formasi Alluvium dan frekuensi natural tertinggi pada Formasi Wonosari. Persamaan 2.12 menunjukkan bahwa parameter yang mempengaruhi nilai frekuensi natural adalah kecepatan gelombang geser dan ketebalan lapisan. Nilai kecepatan gelombang geser berbanding lurus dengan frekuensi natural, serta ketebalan lapisan berbanding terbalik dengan frekuensi natural. Menurut Castelar (2015), besar kecilnya gelombang geser dipengaruhi oleh densitas batuan pada formasi batuan, sebagaimana pada Persamaan 2.13. Persamaan tersebut

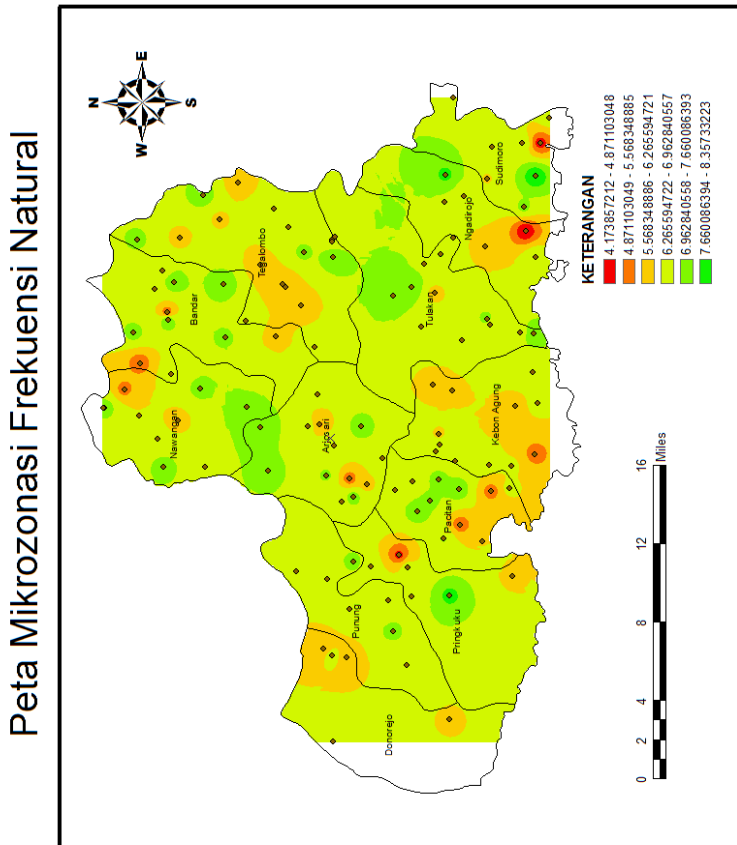
memperlihatkan bahwa nilai kecepatan gelombang geser berbanding terbalik dengan densitas batuan. Semakin besar densitas batuan maka kecepatan gelombang geser semakin kecil. Dari kecepatan gelombang geser yang semakin kecil, mengakibatkan nilai frekuensi natural yang semakin kecil.

Ditinjau dari batuan penyusunnya, Formasi Alluvium terdiri dari batuan kerakal, kerikil, pasir, lanau, lempung, dan lumpur; dengan batuan penyusun dominannya batu pasir. Sedangkan pada Formasi Wonosari terdiri dari batu gamping terumbu, batu gamping berlapis, batu gamping berkepingan, batu gamping pasiran, dan napal; dengan batuan penyusun dominannya batu gamping. Nilai densitas batu pasir lebih kecil dibandingkan dengan batu gamping. Sehingga, kecepatan gelombang geser pada batu pasir (Formasi Alluvium) menunjukkan nilai yang lebih besar dibandingkan pada batu gamping (Formasi Wonosari). Dengan kata lain, frekuensi natural pada Formasi Alluvium menunjukkan nilai yang lebih kecil daripada Formasi Wonosari.

Tabel 4. 2 Deskripsi data frekuensi natural pada setiap formasi di Kabupaten Pacitan

No.	Formasi	Frekuensi Natural (Hz)	
		min	Maks
1	Wonosari	4,48	8,36
2	Oyo	6,72	7,89
3	Nampol	5,65	6,76
4	Wuni	5,65	6,76
5	Jaten	4,62	7,39
6	Arjosari	5,03	7,85
7	Alluvium	4,16	7,49
8	Watupatok	5,71	7,56
9	Semilir	6,26	7,48
10	Mandalika	5.47	7.62
11	Dayakan	4.96	7.73

Gambar 4.7 merupakan peta mikrozonasi frekuensi natural pada daerah penelitian. Gambar tersebut menunjukkan bahwa daerah yang termasuk bahaya menurut parameter frekuensi natural adalah Kecamatan Pacitan, Kecamatan Arjosari, Kecamatan Nawangan, Kecamatan Bandar, Kecamatan Ngadirejo, dan Kecamatan Sudimoro.



Gambar 4. 7 Peta mikrozonasi frekuensi natural pada Kabupaten Pacitan

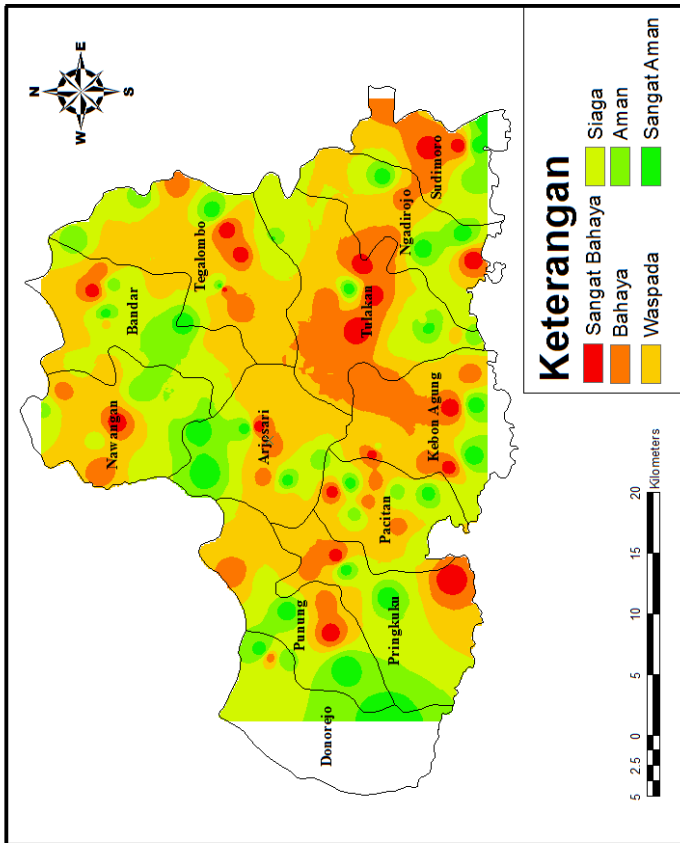
pada Formasi Arjosari dan Formasi Tegalombo. Kedua formasi tersebut dilalui oleh sesar Grendulu. Pada sisi yang tidak dilalui sesar memperlihatkan nilai frekuensi natural yang hampir sama, dan perbedaan mulai terlihat ketika terletak pada jalur yang dilalui oleh sesar. Adanya sesar mengakibatkan perbedaan kedalaman pada daerah tersebut, sehingga frekuensi natural yang terekam juga akan berbeda. Analisa ini diperkuat oleh pernyataan dari Castellaro (2015), yang menyebutkan bahwa nilai frekuensi natural pada suatu formasi batuan memiliki nilai yang bebrbeda apabila dilalui oleh sesar (patahan).

4.2.3 Mikrozonasi Kegempaan

Mikrozonasi kegempaan digunakan untuk mengetahui tingkat kerawanan suatu daerah terhadap getaran gempabumi. Mikrozonasi kegempaan pada penelitian ini dilakukan berdasarkan parameter rasio redaman dan frekuensi natural. Rasio redaman dan frekuensi natural didapatkan dari pengolahan RDM menggunakan data mikrotremor. Kedua parameter tersebut dapat mengindikasikan kerentanan suatu tanah ketika terkena getaran gempabumi.

Sebagaimana pembahasan sebelumnya, diketahui bahwa wilayah yang termasuk kedalam zona bahaya adalah daerah yang memiliki nilai rasio redaman dan frekuensi natural kecil. Sedangkan wilayah yang termasuk kedalam zona aman adalah daerah yang memiliki nilai rasio redaman dan frekuensi natural besar. Untuk mengetahui daerah yang termasuk kedalam zona bahaya maupun aman dapat dilihat pada Gambar 4.9. Gambar ini didasarkan pada pengelompokan parameter rasio redaman EW dan NS, serta frekuensi natural. Pengelompokan ini dilakukan menggunakan metode *fuzzy clustering*. Dari *fuzzy clustering* didapatkan pengelompokan data menjadi 6 zona, yaitu: zona sangat bahaya, zona bahaya, zona waspada, zona siaga, zona aman, dan zona sangat aman.

PETA MIKROZONASI KECEMATAAN KABUPATEN PACITAN



Gambar 4. 9 Peta Mikrozonasi kecamatan Kabupaten Pacitan dari parameter rasio redaman dan frekuensi natural

Gambar 4.9 menunjukkan bahwa daerah yang termasuk ke dalam zona sangat bahaya adalah pada Kecamatan Sudimoro dan Tulakan. Daerah yang termasuk ke dalam zona bahaya adalah Kecamatan Kebon Agung. Daerah yang termasuk ke dalam zona waspada adalah Kecamatan Arjosari, Pacitan,

Ngadirojo, Tegalombo, dan Nawangan. Daerah yang termasuk ke dalam zona siaga adalah Kecamatan Punung, dan Pringkuku. Daerah yang termasuk ke dalam zona aman adalah Kecamatan Bandar. Daerah yang termasuk kedalam zona sangat aman adalah pada Kecamatan Donorejo.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan data mikrotremor pada Kabupaten Pacitan dapat disimpulkan bahwa:

1. Nilai rasio redaman pada Kabupaten Pacitan dipengaruhi oleh jenis formasi batuan.
2. Nilai frekuensi natural pada Kabupaten Pacitan dipengaruhi oleh adanya sesar dan perbedaan formasi batuan.
3. Hasil Mikrozonasi kegempaan pada wilayah penelitian terbagi dalam 6 zona, yakni:
 - a. Zona sangat bahaya, meliputi Kecamatan Sudimoro dan Tulakan.
 - b. Zona bahaya, meliputi Kecamatan Kebonagung.
 - c. Zona waspada, meliputi Kecamatan Arjosari, Pacitan, Ngadirojo, Tegalombo, dan Nawangan.
 - d. Zona siaga, meliputi Kecamatan Punung dan Pringkuku.
 - e. Zona aman, meliputi Kecamatan Bandar.
 - f. Zona sangat aman, meliputi Kecamatan Donorejo.

5.2 Saran

Untuk pengembangan penelitian selanjutnya, penulis menyarankan korelasi dengan metode HVSr untuk mendapatkan frekuensi resonansi.

DAFTAR PUSTAKA

- Afriliani, F., 2014. Analisa Mikrotremor Untuk Mikrozonasi Indeks kerentanan Seismik di Kecamatan Pacitan, Jawa Timur. Skripsi. UNY, Yogyakarta.
- Andriyani, T. M., 2013. Penerapan Algoritma Fuzzy C-Means dan Fuzzy Subtractive Clustering Untuk Penentuan Lokasi Pendirian Loker Pembayaran Tagihan Air Pada Daerah Layanan Kantor Pusat PDAM Salatiga. Skripsi. Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga.
- Asten, M.W., 1978. Geological Control on The Three-Component Spectra of Rayleigh-wave Microseisms. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 68, 1623–1636.
- BPS Pacitan, 2010. Buku Putih Sanitasi Kabupaten Pacitan. Badan Pusat Statistik Kabupaten Pacitan.
- Castellaro, S. 2015. Soil and Damping From Single Station Measurements. Dipartimento di Fisica e Astronomia, Universita di Bologna, viale C. B. Pichat 8, 40127 Bologna. Italy
- Cole, H., 1973. On-line Failure Detection and Damping Measurement of Aerospace Structures by Random Decrement Signatures. Nielsen Engineering & Research Inc, Mountain View, California.
- Fernández-Heredia, A.I., Huerta-López, C.I., Castro-Escamilla, R.R., Romo-Jones, J.M., 2012. Soil damping and site dominant vibration period determination, by means of random decrement method and its relationship with the site-specific spectral decay parameter κ . *Soil Dyn. Earthq. Eng.* 43, 237–246. doi:10.1016/j.soildyn.2012.07.031
- Fnais, M.S., Abdelrahman, K., Al-Amri, A.M., 2010. Mikrotremor measurements in Yanbu city of Western

- Saudi Arabia: A tool for seismic microzonation. J King Saud Univ - Sci 22 97-110 Doi101016/j.jkus.201002006.
- Fulki, A., 2011. Analisis Parameter Gempa, b Value dan PGA di Daerah Papua. Tugas Akhir. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, Jakarta.
- Hambling, W.K., 1986. The Earth's Dynamic Sistem: a text book in physical geology third edition. Burgest Publishing Company, Minnesota.
- Herak, M., 2008. Model HVSR-A Matlab tool to model horisontal-to-vertikal spectral ratio of ambient noise. Geosci.
- Nakamura, Y., 2000, *Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura's Technique and its Application*, World Conference of Earthquake Engineering
- Nakamura, Y and Sato., 2008. Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura's Technique and Its Applications. Proc 12th World Conf Earthq. Eng.
- Nakamura, Y., 2009. A Method for Dynamic Characteristics Esimation of Subsurface Using Mikrotremor On The Ground Surface. Q. Rep. Railw. Technol. Res. Inst. 25–33
- Pawirodikromo, W., 2012. Seismologi Teknik Rekayasa Kegempaan. Yogyakarta. Pusaka Pelajar.
- Purwanto, H.S., 1997. Analisis dan Genesa Pembentukan Struktur Geologi pada Batuan berumur Oligosen-Miosen di Daerah Pacitan dan Sekitarnya Kabupaten Pacitan, Jawa Timur: Thesis. Bdg. ITB.
- Rahmaningtyas, A.P., 2017. Identification of Peak Ground Acceleration (PGA) and Seismic Vulnerability Using Mikrotremor Method in Kendeng Fault. Tugas Akhir. ITS, Surabaya.
- H. Samodra, S. Gafoer, dan S. Tjokrosapoetro, "Peta geologi lembar Pacitan. Jawa. Sekala 1 : 100.000." Puslitbang Geologi Bandung, 1992.
- Schnabel, P., Seed Bolton H., and Lysmer, J., 1972, *Modification of Seismograph Records for Effects of Local Soil Conditions*, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 62, No. 6 pp. 1649-1664.

- Sudrajat, A., Jong-IK, 1993. Report on the join minerl exploration in the Pacitan-Ponorogo area, East Java, the Republic Indonesia. Unpublish.
- Sunarto dan Lies Rahayu, 2007. Model prevensi Bencana Gempabumi dan Tsunami pada Lowland Teluk Pacitan, Jurnal Kebencanaan Indonesia, Vol 1, No.2, 2007
- Sungkono, Santosa, B.J., 2011. Karakterisasi Kurva Horisontal-to-Vertikal Spectrral Ratio: Kajian Literatur dan Permodelan. Jurusan Fisika MIPA ITS, Surabaya.
- Triwulan, W, U., D. D., W., Sungkono, n.d. Vulnerability index estimation for building and ground using mikrotremor. Aptecs 2nd. International Seminar on applied Technology, Science and Arts. Graha Sepuluh Nopember, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. 21-22 Desember.
- Wang, Z., 2008. A technical note on seismik microzonation in the central United States. Kentucky Geological Survei, University of Kentucky, pp.1-8, Kentucky.
- Wulandari, V., 2012. Analisis Mikrotremor untuk Evaluasi Kekuatan Bangunan Studi Kasus Gedung Perpustakaan ITS. ITS, Surabaya.

LAMPIRAN

No	Latitude	Longitude	n		e		Cluster
			Fo (Hz)	Z (%)	Fo (Hz)	Z (%)	
1	-8,101837	110,937217	6,61	15,81	6,31	18,82	2
2	-8,15638	110,993587	6,42	23,66	4,73	30,90	6
3	-8,187862	110,95372	6,20	24,21	4,86	32,22	6
4	-8,234093	111,059102	6,18	24,70	4,86	29,95	1
5	-8,188058	111,044842	7,89	7,53	5,02	32,11	6
6	-8,145985	111,018543	7,14	10,19	6,57	27,18	1
7	-8,159997	111,044538	6,76	15,31	7,25	13,77	3
8	-8,111822	110,993653	5,65	17,32	5,87	1,37	5
9	-8,101642	111,000437	6,76	14,69	6,33	17,40	2
10	-8,114252	111,035228	6,77	12,69	5,44	33,17	6
11	-8,142912	111,041847	6,59	14,35	6,37	21,21	2
12	-8,129963	111,06667	6,55	19,10	5,92	21,50	2
13	-8,157070	111,065688	6,58	17,40	5,15	31,67	6
14	-8,094833	111,006083	5,53	21,40	5,89	31,51	6
15	-8,097778	111,057337	6,27	22,79	6,38	25,59	4
16	-8,117118	111,06997	7,24	8,22	7,05	12,15	3
17	-8,150717	111,074887	4,62	23,24	4,44	29,67	1
18	-8,183753	111,087018	7,01	17,82	6,27	11,51	3
19	-8,074568	111,063295	6,56	17,00	6,11	22,02	2
20	-8,10869	111,114367	6,87	12,85	6,84	14,57	3
21	-8,164338	111,10719	7,40	6,54	7,20	8,99	5
22	-8,122977	111,169988	7,34	10,94	7,34	11,62	3
23	-8,160695	111,129237	6,23	24,26	4,97	31,32	6
24	-8,13857	111,146447	6,81	16,18	7,40	8,01	5
25	-8,195917	111,097532	5,04	33,67	6,85	17,16	2

26	-8,194805	111,123558	7,49	13,92	7,48	0,11	5
27	-8,212	111,084845	6,26	28,89	5,45	26,69	4
28	-8,218772	111,122257	5,14	32,41	4,43	36,62	6
29	-8,232125	111,124563	6,46	19,96	6,20	26,16	4
30	-8,11714	111,117937	7,31	9,94	6,84	11,74	3
31	-8,17315	111,115319	7,12	11,57	7,04	21,51	2
32	-8,103097	111,309908	6,29	20,04	5,53	32,22	6
33	-8,2364	111,185492	5,93	26,37	5,12	28,64	1
34	-8,126753	111,127506	5,99	19,29	6,50	24,63	4
35	-8,102215	111,295035	7,61	8,87	6,42	26,30	4
36	-8,101467	111,308083	7,20	11,12	7,15	15,96	3
37	-8,191983	111,144458	6,86	14,56	6,77	15,50	3
38	-8,189882	111,196595	6,14	24,81	2,32	20,43	2
39	-8,252585	111,187412	6,44	19,56	6,81	15,45	6
40	-8,250815	111,149645	5,25	32,78	4,06	30,82	6
41	-8,177458	111,151505	6,37	19,66	6,34	27,96	1
42	-8,169055	111,290227	6,85	11,57	6,35	27,15	1
43	-8,147603	111,123278	6,76	17,28	5,95	28,38	1
44	-8,146638	111,266325	7,39	7,78	6,71	20,52	2
45	-8,181592	111,297068	6,98	10,62	6,31	19,62	2
46	-8,180777	111,156728	6,50	16,54	6,02	24,93	4
47	-8,159783	111,27311	7,64	8,27	5,09	31,72	6
48	-8,180187	111,164335	6,15	12,42	6,05	13,08	3
49	-8,166702	111,243478	6,61	15,23	5,56	29,18	1
50	-8,175267	111,200727	5,98	30,83	7,07	21,51	2
51	-8,17723	111,26841	5,94	21,37	4,72	30,09	1
52	-8,197292	111,2336	6,55	17,61	6,06	24,24	4
53	-8,215338	111,249092	7,12	12,33	6,64	25,82	4
54	-8,048092	111,169402	6,77	18,55	5,79	26,80	1
55	-8,217977	111,245342	6,67	14,40	6,19	29,35	6

56	-8,249535	111,210317	6,85	16,44	6,23	18,21	2
57	-8,239783	111,239425	6,72	18,04	7,20	14,69	3
58	-8,25009	111,238717	7,32	7,89	7,32	9,44	5
59	-8,037802	111,247887	6,63	19,47	5,62	31,82	6
60	-8,251068	111,2953	6,88	16,05	6,75	30,52	1
61	-8,179543	111,13055	7,24	10,60	6,92	20,31	2
62	-8,184382	111,335772	6,94	10,56	6,76	12,29	3
63	-8,080345	111,298582	7,15	12,08	5,94	30,30	1
64	-7,980202	111,248502	7,73	11,14	7,15	14,11	3
65	-8,213897	111,303107	5,70	29,57	4,22	33,56	6
66	-8,19063	111,309385	6,55	28,91	7,57	16,82	2
67	-8,184987	111,355762	7,85	5,02	5,56	32,19	6
68	-8,219012	111,376972	6,73	17,92	6,52	27,46	1
69	-8,190332	111,413013	6,82	18,25	6,64	19,22	2
70	-8,198475	111,340502	6,53	18,65	6,92	17,63	2
71	-8,2439	111,314333	4,16	41,12	4,63	33,49	6
72	-8,21559	111,353173	6,21	22,74	6,24	20,58	2
73	-8,241575	111,37923	6,91	35,80	5,04	29,63	1
74	-8,254622	111,379512	4,48	15,18	4,20	12,89	6
75	-8,242588	111,332133	7,13	9,09	6,59	25,56	4
76	-8,251022	111,35489	8,36	2,45	8,36	2,61	5
77	-8,26145	111,398197	6,65	21,65	4,86	32,43	6
78	-8,054227	111,137528	7,22	10,56	5,10	32,47	6
79	-8,090918	111,193762	6,31	19,08	6,58	16,16	3
80	-8,088262	111,228983	6,95	13,09	6,92	12,61	3
81	-8,078483	111,259275	5,76	13,39	5,16	20,41	2
82	-8,083407	111,169988	6,72	17,83	4,68	31,43	6
83	-8,060093	111,236532	5,98	21,10	6,91	13,77	3
84	-8,048092	111,169402	7,62	3,61	4,51	34,10	6
85	-8,097278	111,133842	7,09	9,13	7,06	19,55	2

86	-8,038562	111,184385	7,06	11,42	6,53	22,83	4
87	-8,022752	111,23608	7,09	9,56	7,24	8,62	5
88	-8,004063	111,198135	7,19	11,69	7,39	8,02	5
89	-8,007725	111,140225	6,51	16,35	6,36	23,91	4
90	-7,987903	111,1744	5,96	25,50	5,86	30,19	1
91	-8,067222	111,273167	5,86	25,33	4,88	29,53	1
92	-8,069007	111,317333	6,89	10,67	6,22	28,38	1
93	-8,101102	111,306868	6,45	20,18	6,45	23,28	4
94	-8,05877	111,331117	6,71	18,26	4,32	31,89	6
95	-8,064678	111,275247	5,84	36,14	4,84	32,28	6
96	-8,048658	111,289467	5,71	9,19	6,87	10,64	3
97	-8,032183	111,349925	5,81	24,68	6,75	18,19	2
98	-8,018268	111,323258	6,14	22,20	6,83	15,80	3
99	-8,021223	111,275107	7,56	7,97	7,08	14,90	3
100	-7,98884	111,30912	6,00	17,02	6,81	13,93	3
101	-8,006008	111,340773	7,39	11,92	7,46	9,72	5
102	-7,95791	111,307982	7,08	9,48	7,01	8,46	5
103	-7,984518	111,276922	7,48	8,28	7,64	5,81	5
104	-7,976448	111,285512	6,52	19,22	6,87	21,10	2
105	-7,979768	111,254218	4,96	27,28	5,19	31,87	6
106	-7,970605	111,271797	6,63	15,85	5,94	27,65	1
107	-7,955148	111,239237	7,22	9,79	6,53	16,13	3
108	-7,933642	111,183868	7,69	6,19	7,50	7,25	5
109	-7,959705	111,216843	5,07	39,19	5,42	24,86	4
110	-7,948112	111,197355	5,28	35,51	5,92	20,04	2
111	-7,932345	111,183868	6,56	20,63	5,98	22,77	4
112	-7,977232	111,140363	7,24	11,81	6,08	20,39	2
113	-7,982607	111,208955	6,74	11,36	6,68	11,38	3
114	-7,95888	111,17768	6,26	20,96	6,54	16,68	3
115	-7,97286	111,160965	6,44	22,85	6,38	23,06	4

116	-8,114363	111,131328	5,03	36,59	4,84	31,30	6
117	-8,102918	111,15601	6,98	14,13	6,09	21,15	2
118	-8,092348	111,171373	5,47	30,73	4,10	30,42	1
119	-8,216878	111,141788	6,52	22,77	7,52	18,08	2
120	-8,233682	111,14076	6,40	15,88	5,98	28,87	1

BIODATA PENULIS



Penulis “Irvan Adji Pradana” merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Lahir di Nganjuk pada tanggal 7 September 1995 dari pasangan Samiadji dan Titik Suwarni. Semasa kecil penulis menempuh pendidikan formal antara lain di TK R.a. Perwanida, SD Negeri Rejoso 1 Nganjuk, SMP Negeri 1 Nganjuk, dan SMA Negeri 1 Nganjuk. Penulis diterima di jurusan Fisika FMIPA-ITS pada tahun 2014 melalui jalur SNMPTN undangan dan terdaftar dengan NRP 1114100052.

Selama masa perkuliahan, penulis aktif dalam berbagai kegiatan dan organisasi mahasiswa. Beberapa organisasi yang sempat ditekuni yaitu sebagai staff Education and Student Prosperity Himasika ITS (2015-2016), staff Eksternal HMGI regional IV (2015-2016), staff divisi Kominfo SM-IAGI ITS (2015-2016), Wakil Ketua Himpunan Fisika ITS (2016-2017), dan wakil ketua divisi eksternal SM-IAGI ITS (2016-2017).

Akhir kata apabila ada kritik dan saran, pembaca dapat mengirim pesan ke: irvann450@gmail.com.